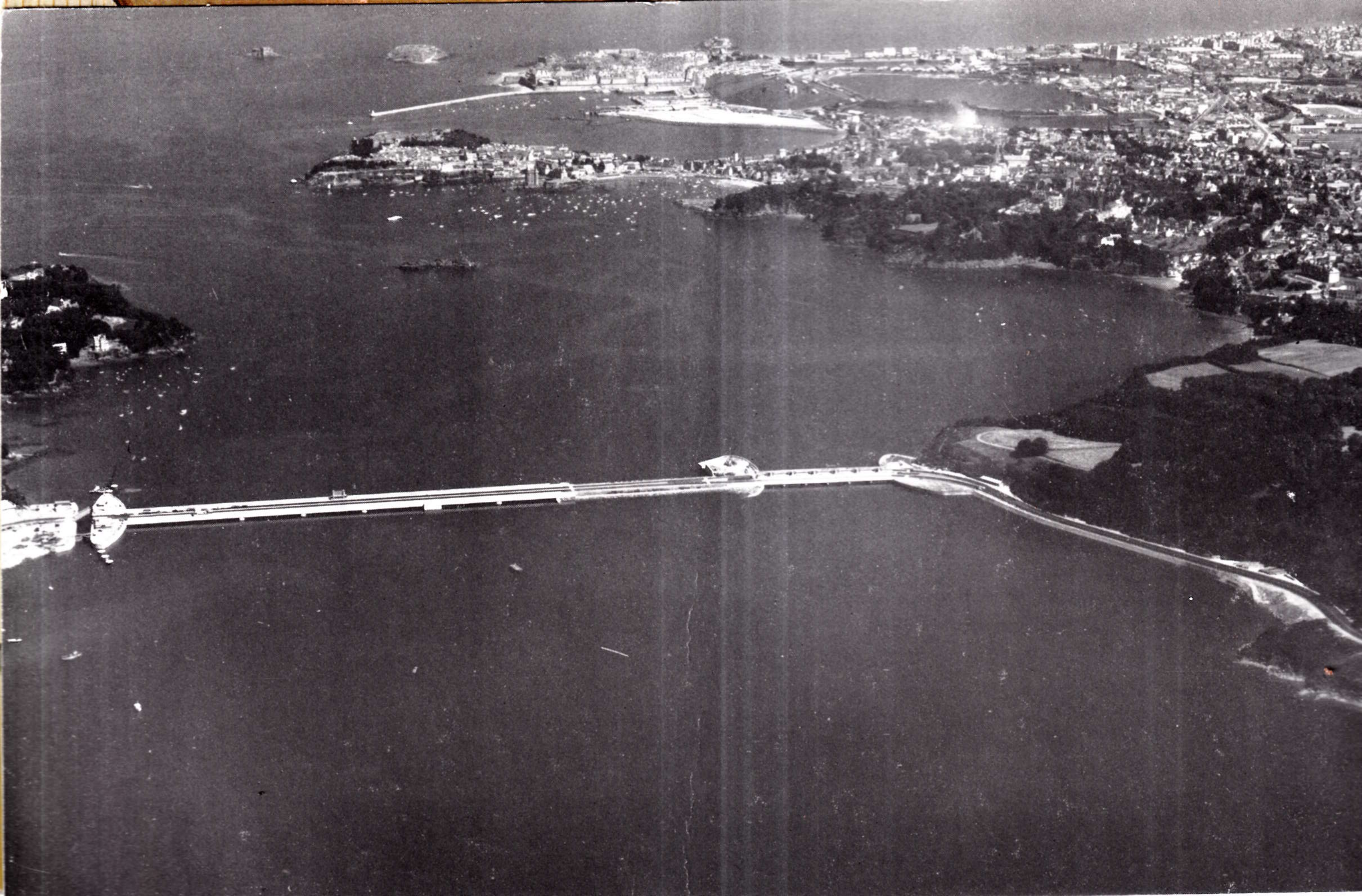
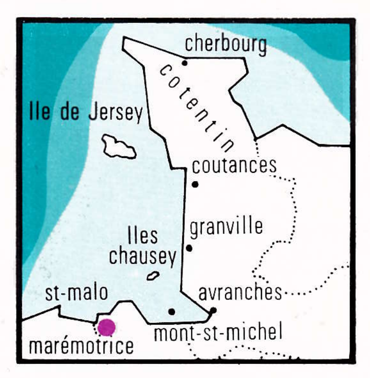

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE
L'USINE
MAREMOTRICE
DE LA RANCE



SITUATION



Depuis des temps très anciens, l'homme a cherché à utiliser l'énergie des marées. Les premiers moulins à marée sont apparus en France, sur les Côtes Bretonnes, dès le XIIe siècle.

La marée est une manifestation complexe qui fait intervenir non seulement l'influence conjuguée de la lune et du soleil selon les lois de l'attraction universelle, mais aussi la rotation de la terre sur elle-même, et le mouvement des masses océaniques. Celui-ci donne lieu à des phénomènes de résonance et de réflexion d'onde sur le littoral, qui sont fonction de la dimension des fonds marins et du profil des côtes.

L'estuaire de la Rance est situé dans l'une des régions du monde où l'amplitude des marées est la plus grande (13,50 m en vive-eau d'équinoxe) du fait, en particulier, de l'obstacle que présente la presqu'île du Cotentin à l'onde de marée qui remonte la Manche venant de l'Atlantique.

Cet estuaire présentait les caractéristiques favorables à l'implantation d'une usine marémotrice en raison de la possibilité de créer un important réservoir dont dépend, conjointement avec l'amplitude de la marée, la quantité d'énergie productible.

← *Le site après achèvement des travaux*

UTILISATION DES MARÉES

Moulin à marée de Saint-Suliac

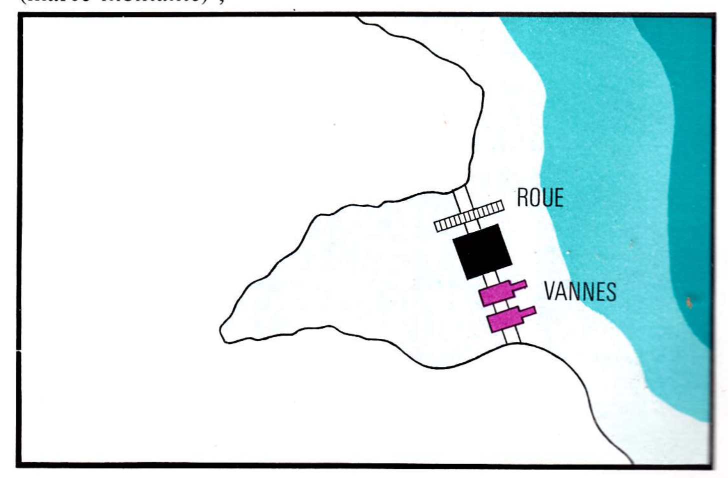
Le principe de fonctionnement des anciens moulins à marée dont quelques vestiges subsistent encore dans l'estuaire était le suivant :

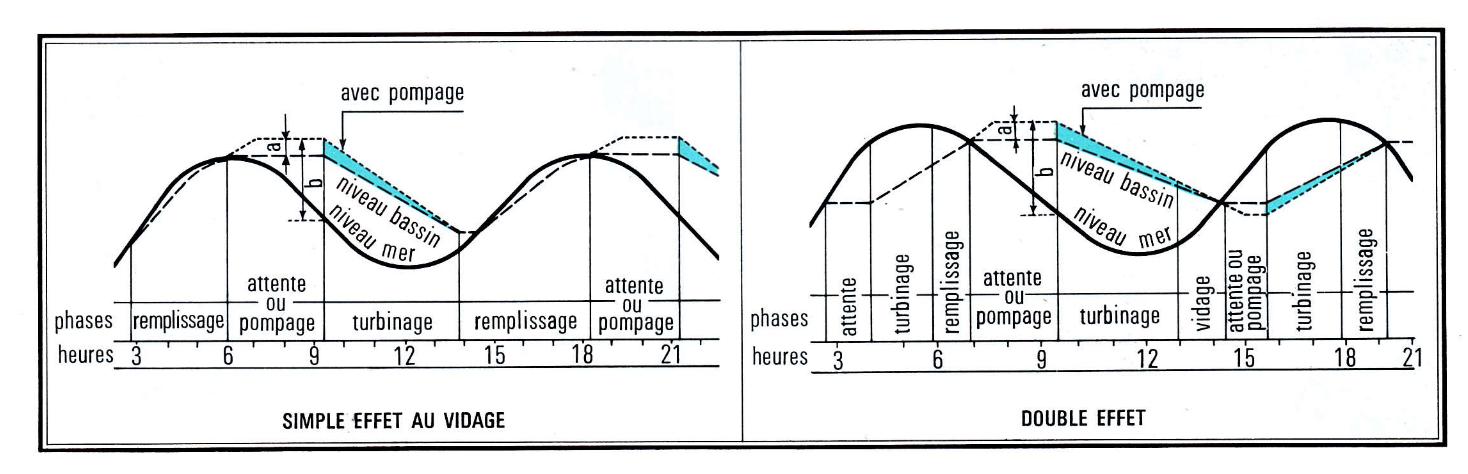
- une digue fermant une anse créait un bassin ;

- des vannes permettaient le remplissage du bassin au flot (marée montante) ;

- une roue à aubes assurait le vidage du bassin au jusant (marée descendante) en produisant la force motrice.

Ces moulins qui ne produisaient de l'énergie qu'une fois par marée réalisaient un cycle à « simple effet ».



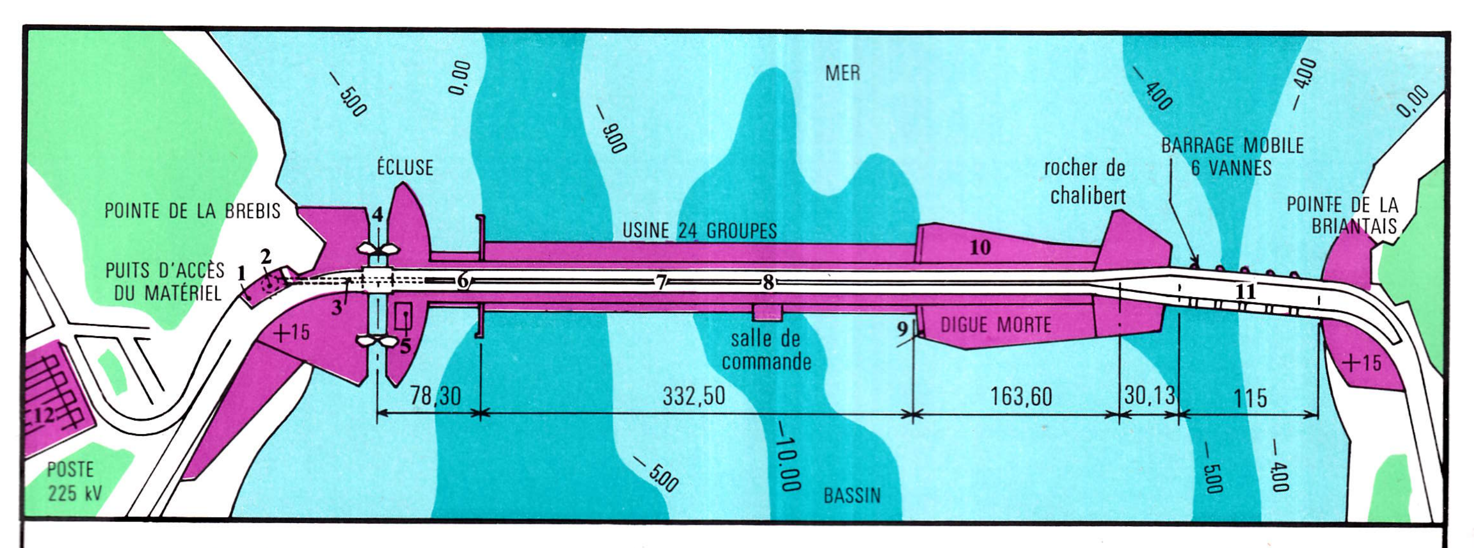


Après 25 ans d'études dans des domaines aussi divers que la physique du globe, les travaux à la mer, l'hydraulique et la corrosion, l'usine marémotrice de la Rance a été construite entre la Pointe de la Briantais en rive droite et la Pointe de la Brebis sur la rive gauche, s'appuyant au passage sur l'îlot de Chalibert.

Cet ouvrage d'une longueur de 750 m édifié sur des fonds granitiques descend jusqu'à — 13 m par rapport au niveau 0 des cartes marines (CM). Il a permis de constituer un réservoir de 184 000 000 de mètres cubes utiles, entre les cotes 0 et + 13,50 CM, qui s'étend sur près de 20 km jusqu'à l'écluse du Chatellier à l'aval de Dinan et dont la superficie est de 2 200 hectares à la cote + 13,50.

Le principe de fonctionnement est le même que celui des moulins à marée, mais grâce au groupe « bulbe » qui permet de turbiner dans les deux sens d'écoulement de l'eau, l'énergie peut être produite aussi bien au remplissage qu'au vidage du bassin. C'est le cycle à « double effet ».

Le groupe bulbe permet aussi de pomper ; il est donc possible de surélever le niveau du bassin en fin de remplissage par rapport au niveau de la mer. La production s'en trouvera accrue puisque l'eau pompée sous une faible hauteur (a) travaillera quelques heures plus tard sous une chute plus élevée (b).



1 *Bâtiment d'accès des grosses pièces, sol à la cote + 16,65 (C.M.).*

2 *Puits pour descente des pièces à la cote —7.00, diamètre 12 m.*

3 *Galerie d'accès à —7.00, passant sous l'écluse, longueur 80 m environ.*

4 *Ecluse de navigation, sas : 65 × 13 m, radier à + 2.00.*

5 *Bâtiment administratif et accès principal à l'usine.*

6 *Travées de démontage du matériel et ateliers d'entretien.*

7 *24 travées de groupe, distantes de 13,30 m.*

8 *Travée de commande.*

9 *Mur d'extrémité de l'usine, constituant le soutènement de la digue morte.*

10 *Digue en enrochements.*

11 *Six pertuis munis de vannes de 15 × 10 m.*

12 *Poste de départ. 3 lignes 225 000 V.*

DESCRIPTION DES OUVRAGES

L'ensemble des ouvrages comprend de la rive gauche à la rive droite :

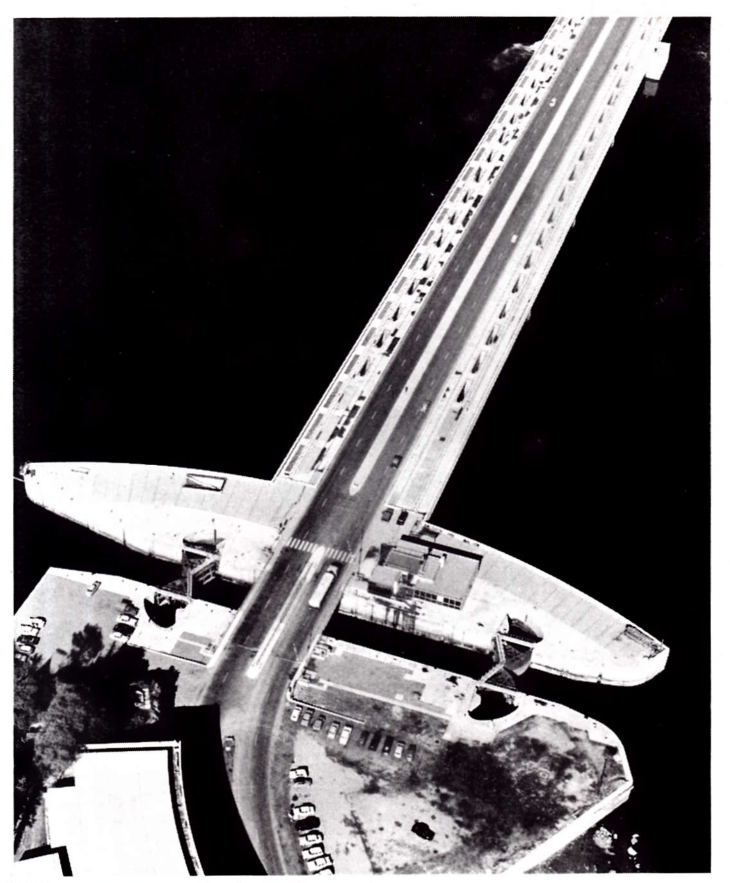
- Une écluse rétablissant la navigation entre le bassin et la mer.
- L'usine proprement dite située dans la partie la plus profonde de la Rance qui abrite 24 groupes du type « bulbe ».
- Une digue en enrochement dite « digue morte » complétant la fermeture de l'estuaire entre l'usine et l'îlot de Chalibert.
- Un barrage mobile équipé de 6 vannes qui relie l'îlot de Chalibert à la culée rive droite.

Le couronnement des ouvrages supporte une route à grande circulation reliant Dinard à St-Malo ; constituée par deux chaussées de 7 m de large avec terre-plein central, elle franchit l'écluse à l'aide de deux ponts levants de 9 m de largeur chacun.

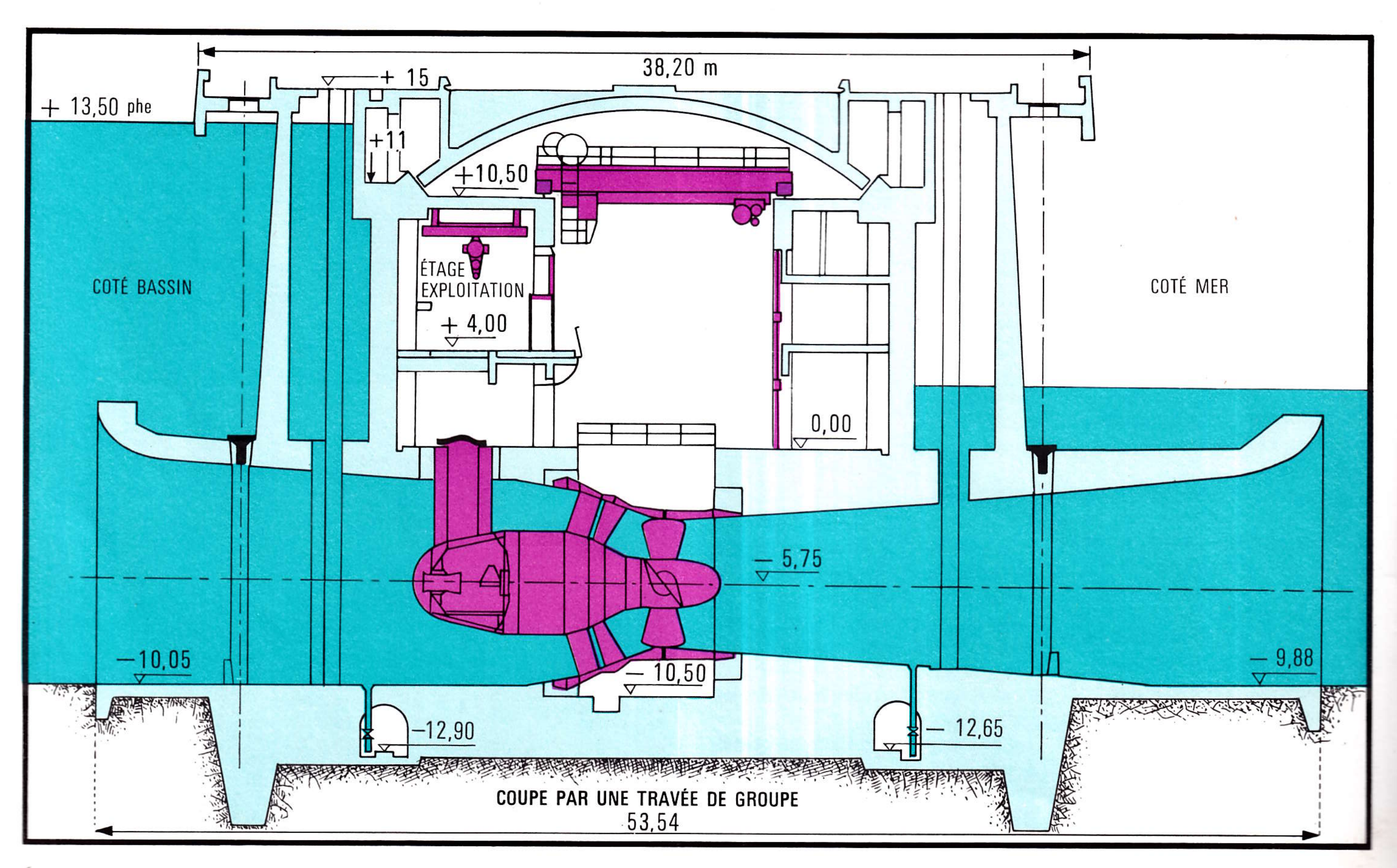
l'écluse

L'écluse dont le radier est calé à la cote + 2 CM comporte un sas de 65 m de longueur et 13 m de largeur. Elle est équipée à chaque extrémité d'une porte à deux vantaux qui pivotent chacun autour d'un axe vertical et s'effacent dans les bajoyers en position ouverte.

La manœuvre de l'écluse et des ponts routiers est assurée d'un poste de contrôle situé dans le bâtiment administratif sur le bajoyer Est de l'écluse.



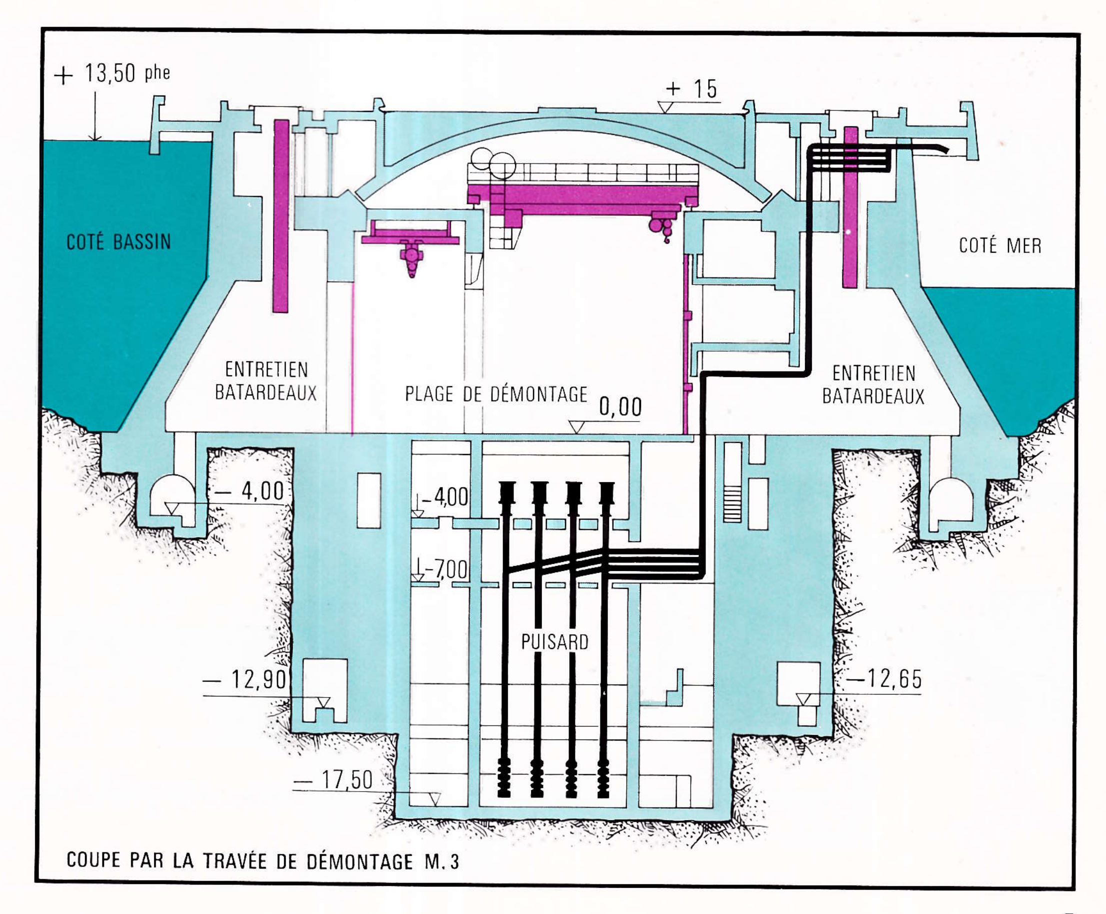
L'écluse et une partie de la digue usine.



COUPE PAR UNE TRAVÉE DE GROUPE

l'usine

La salle des machines est constituée par une digue creuse en béton armé de 390 m de longueur et 33 m de largeur entre les parements extrêmes. Elle est divisée en 28 travées par des contreforts équidistants de 13,30 m et couverte par une voûte qui supporte la route.
Les 3 premières travées les plus voisines de l'écluse sont occupées par les ateliers d'entretien et les aires de démontage. Les 25 suivants abritent les 24 groupes, les 3 transformateurs principaux ainsi que la salle de commande.
La dernière travée de démontage et celle de la salle de commande comportent chacune un puisard descendant jusqu'à la cote — 17,50 CM où sont collectées les eaux d'infiltration et de rejet. Chaque puisard est équipé de 8 pompes d'une puissance unitaire de 75 kW représentant, pour l'ensemble de l'usine, une capacité globale de refoulement de 2,4 mètres cubes par seconde.
Les locaux aménagés dans le bajoyer Est de l'écluse abritent la plupart des services auxiliaires de l'usine ainsi que le circuit ouvert aux visiteurs.



COUPE PAR LA TRAVÉE DE DÉMONTAGE M. 3

Barrage mobile au remplissage.

COUPE LONGITUDINALE EN TRAVERS DE L'ÉCLUSE

16,65
BATIMENT D'ACCÈS
PUITS
ÉCLUSE
LOCAUX RIVE GAUCHE
TRAVÉES DE MONTAGE
GROUPE I
0,00
— 7,00 GALERIE D'ACCÈS
DÉCUVAGE
74,53
16,50
19,90
44,60
—17,50
13,30

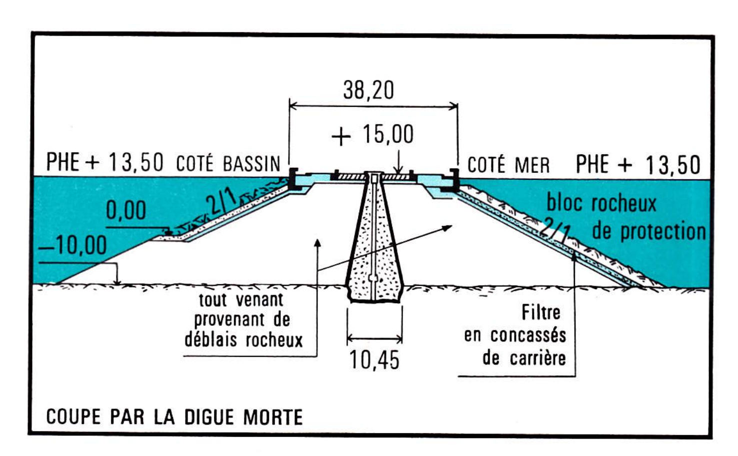
la digue morte

C'est un barrage en enrochement de 163 m de longueur dont l'étanchéité est assurée par un noyau central en béton comportant une galerie visitable à la partie basse. Cet ouvrage s'appuie côté rive gauche sur le mur qui termine l'usine et côté rive droite sur l'îlot de Chalibert. Des précautions ont dû être prises pour assurer la protection des deux parements soumis alternativement aux effets de la houle.

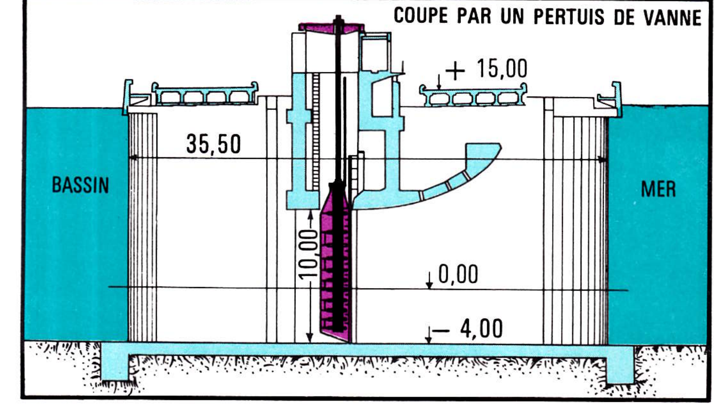
le barrage mobile

Long de 115 mètres il est constitué par 6 vannes du type wagon manœuvrées chacune par un servomoteur à huile. La hauteur de levée est de 10 m et la largeur de chaque passe de 15 m.

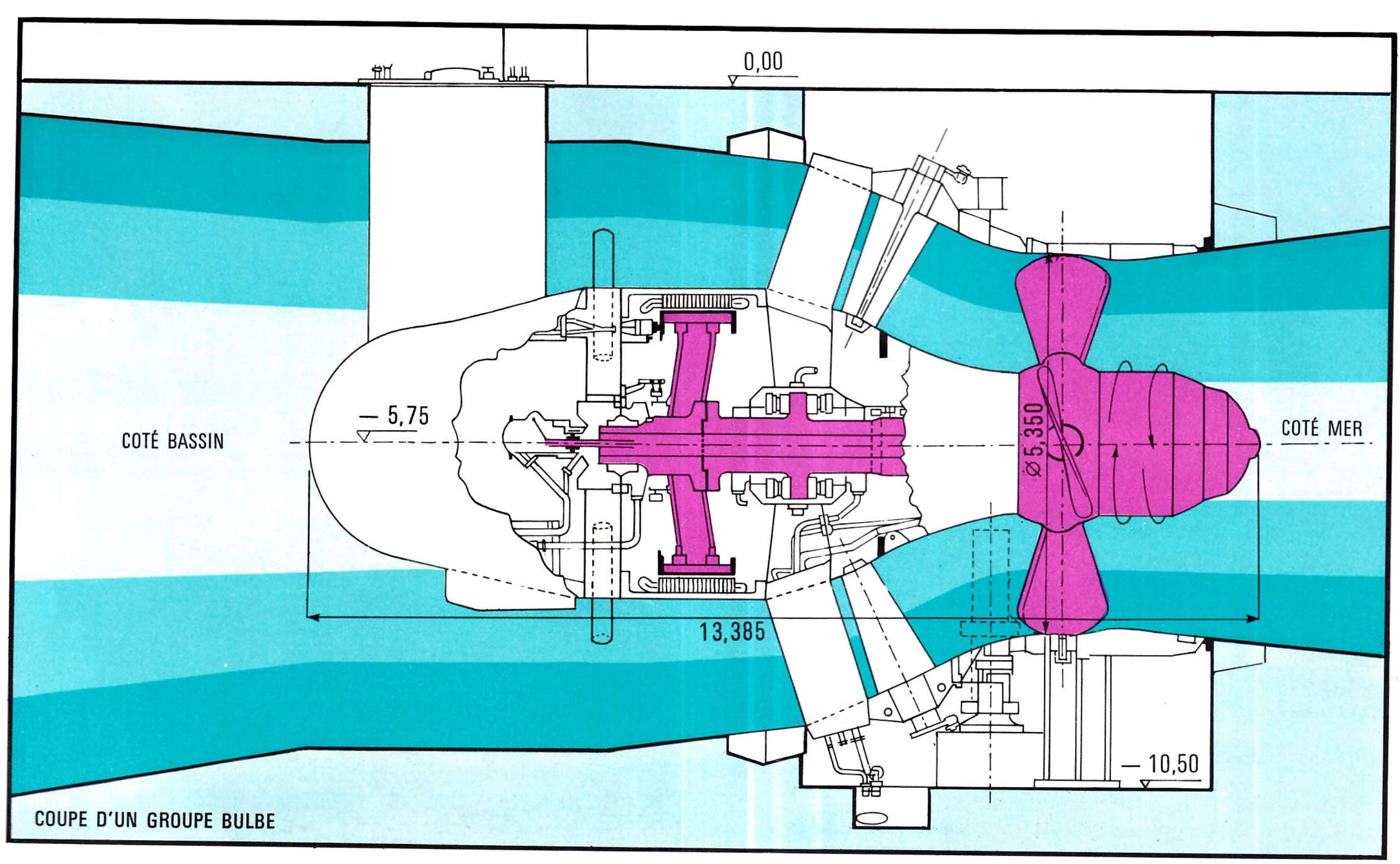
Cet ouvrage, contrôlé depuis la salle de commande de l'usine, peut assurer le passage d'un débit total de 9 600 mètres cubes seconde sous une dénivellation de 5 m. Il permet l'équilibrage rapide des niveaux en vue du vidage ou du remplissage du bassin.



COUPE PAR LA DIGUE MORTE



COUPE PAR UN PERTUIS DE VANNE


0,00
— 5,75
COTÉ BASSIN
Ø 5,350
COTÉ MER
13,385
— 10,50
COUPE D'UN GROUPE BULBE

L'ÉQUIPEMENT ÉLECTROMÉCANIQUE

L'usine est équipée de 24 groupes générateurs identiques d'une puissance unitaire de 10 MW.(1)

Ces groupes qui sont du type « bulbe amont » rassemblent dans une même coque métallique immergée dans un conduit hydraulique :
- Une turbine Kaplan horizontale à 4 pales, tournant à 93,75 tr/mn et pouvant absorber un débit de 275 m^3/s.
- Un alternateur de 10 MW fonctionnant dans l'air surpressé à deux bars absolus sous la tension de 3 500 V.

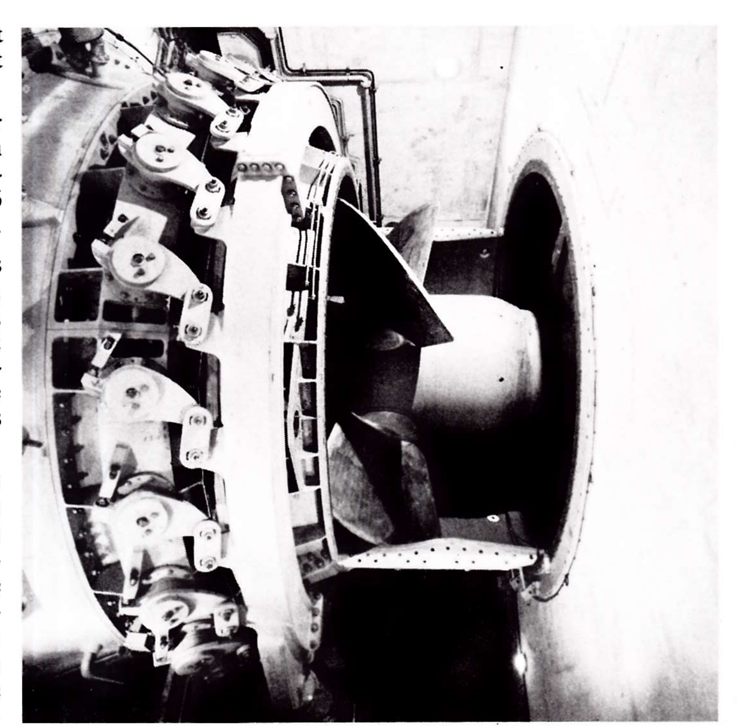
Ils peuvent fonctionner indifféremment en pompe ou en turbine, leur sens de rotation étant déterminé par le sens d'écoulement de l'eau.

L'unité d'exploitation est constituée par un « ensemble » de 4 groupes qui fonctionnent simultanément et disposent en commun d'un certain nombre d'organes annexes notamment pour le réglage des turbines et l'excitation des alternateurs.

Chaque « ensemble » débite sur l'un des deux primaires du transformateur de « bloc » correspondant. Il existe donc 6 « ensembles » et 3 « blocs ».

Chacun des 3 transformateurs de « blocs » 3,5/3,5/225 kV, d'une puissance de 80 MVA, est réfrigéré par circulation d'huile et air soufflé. Ces transformateurs sont reliés au poste 225 kV extérieur par des câbles à huile sous pression.

La surveillance et la conduite sont assurées depuis la « salle de commande » où convergent toutes les informations nécessaires à la bonne marche de l'usine. Celle-ci est normalement pilotée par un programmateur qui fixe les conditions de fonctionnement des groupes et des vannes à partir d'un programme élaboré par un calculateur. Le recours à un calculateur est imposé par la complexité des calculs « d'optimalisation » de la production qui doivent tenir compte entre autres des caractéristiques propres à chaque marée et de la variation du coût de l'énergie en fonction du temps.

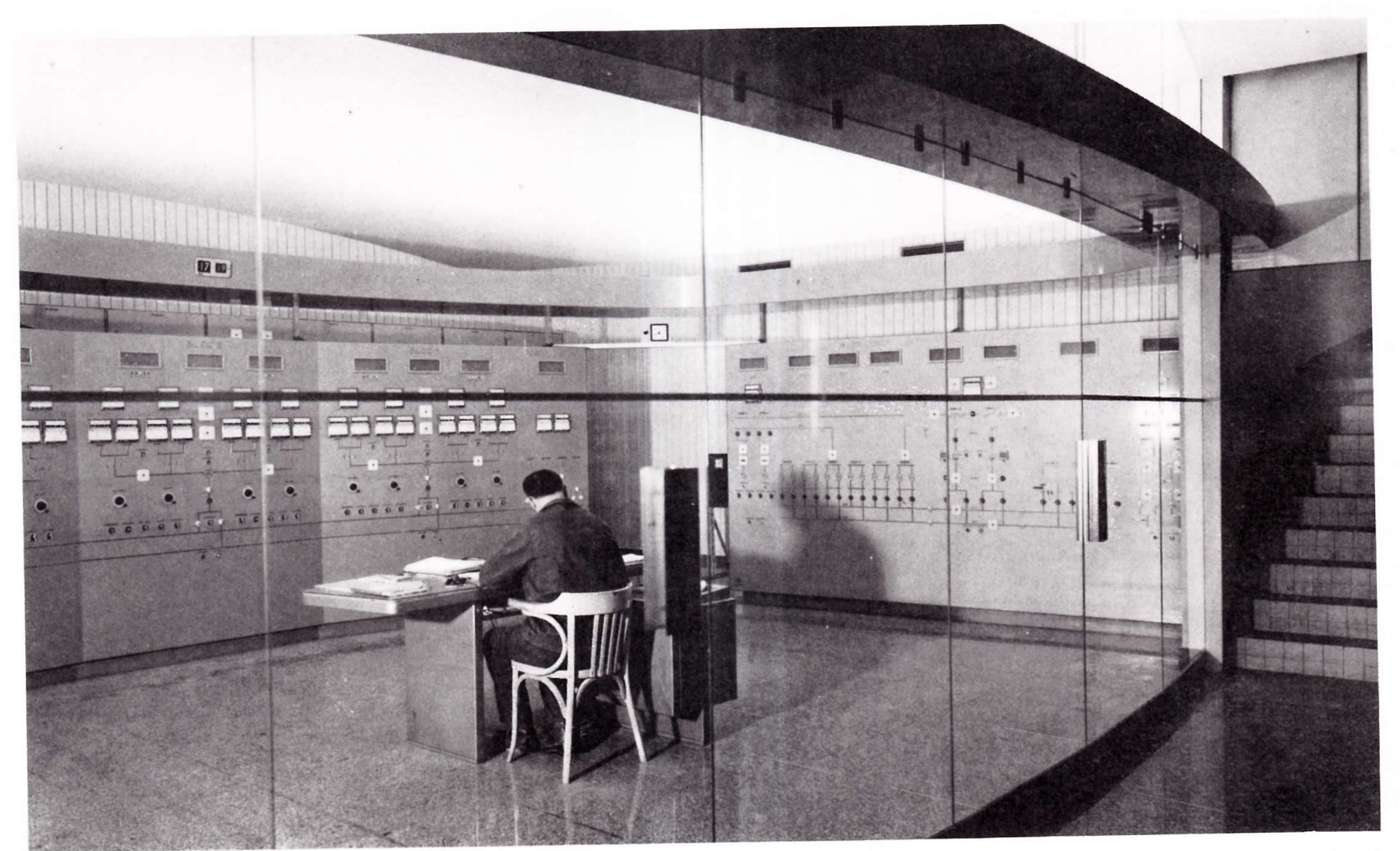


Bulbe - Vue de la roue motrice

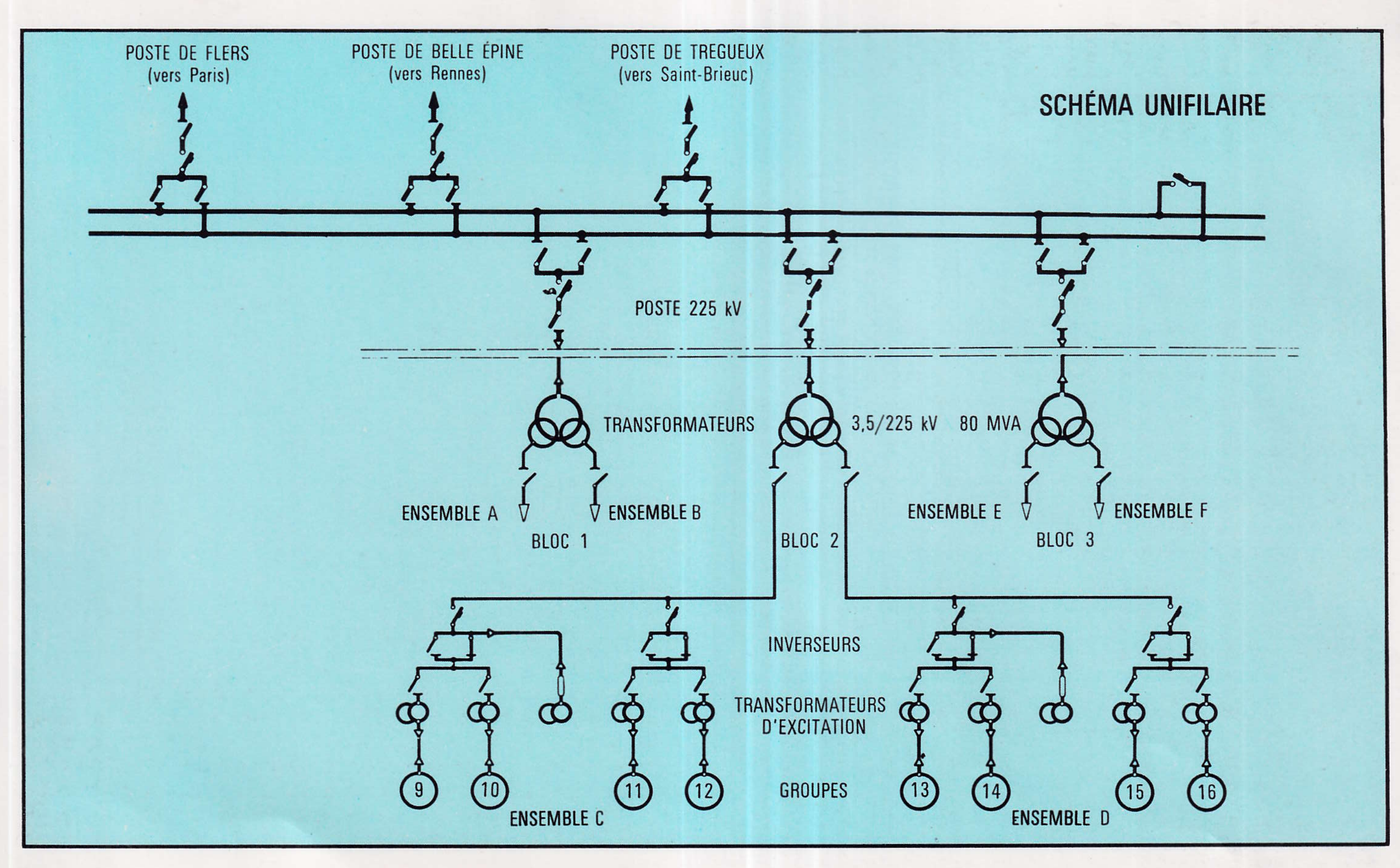
(1) 1 MW = 1 000 kilowatts (kW).

Bulbe - Vu du bassin

Bulbe - Vu de la mer



Salle de commande


POSTE DE FLERS
(vers Paris)
POSTE DE BELLE ÉPINE
(vers Rennes)
POSTE DE TREGUEUX
(vers Saint-Brieuc)
SCHÉMA UNIFILAIRE
POSTE 225 kV
TRANSFORMATEURS
3,5/225 kV 80 MVA
ENSEMBLE A
ENSEMBLE B
BLOC 1
BLOC 2
ENSEMBLE E
ENSEMBLE F
BLOC 3
INVERSEURS
TRANSFORMATEURS
D'EXCITATION
GROUPES
9
10
11
12
13
14
15
16
ENSEMBLE C
ENSEMBLE D

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Puissance installée : 240 MW
Productivité nette annuelle : 544 millions de kWh (énergie de pompage déduite)
Énergie consommée pour le pompage : 64,5 millions de kWh
Nombre de groupes : 24

turbines

Type Kaplan horizontale, distributeur conique :
diamètre de la roue : 5,35 m
nombre de pales : 4
inclinaison des pales variable de — 5° à + 35°

Fonctionnement en turbine	Sous une chute de:				
	11 m maxi.	9 m	7 m	5 m	3 m
— Directe (sens bassin-mer)					
Puissance ....MW	10	10	10	8	3,2
Débit absorbé ......m³/s	110	130	175	260	200
— Inversée (sens mer-bassin)					
Puissance ....MW	10	10	9,5	5,5	2
Débit absorbé ....m³/s	130	155	230	195	135

Fonctionnement en pompe directe (sens mer-bassin)	Sous une chute de:			
	1 m	2 m	3 m	6 m maxi.
Puissance ....MW	10	10	10	10
débit maxi. pompé...m³/s	225	195	170	105

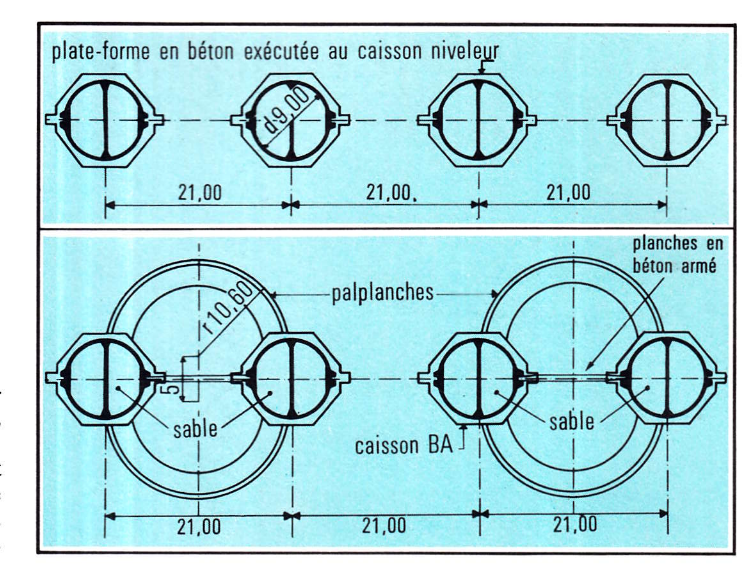
alternateurs

Type synchrone
Excitation statique
Vitesse de rotation normale : 93,75 tr/mn.
Survitesse maximale : 260 tr/mn.
Tension de sortie : 3,5 kV
Réfrigération par air comprimé à 2 bars absolus.

auxiliaires

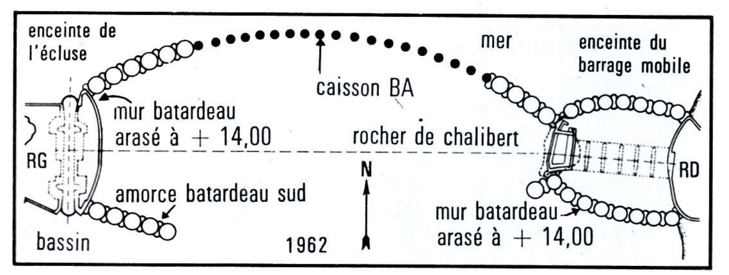
Les services auxiliaires alternatifs sont alimentés à partir de 2 transformateurs de 5 MVA - 63/5,5 kV raccordés en dérivation sur un câble reliant Dinard et St-Malo. Un réseau 5,5 kV distribue l'énergie à une série de 8 postes de transformation 5 500/380 volts. Deux groupes Diesel de 600 kVA à démarrage automatique assurent l'alimentation des auxiliaires essentiels en cas de manque de tension sur le réseau 63 kV.

CONSTRUCTION DES OUVRAGES



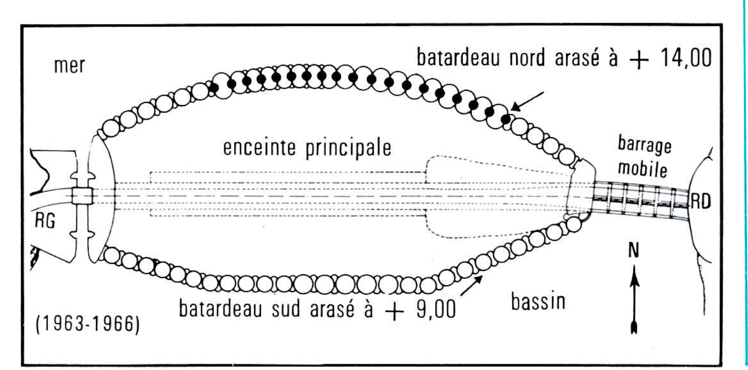
Les ouvrages ont été construits à sec, à l'intérieur de 3 enceintes de batardeaux exécutées dans l'ordre chronologique suivant :

- Une enceinte rive gauche pour la construction de l'écluse, constituée de murs en béton exécutés à la marée et incorporés dans l'ouvrage définitif.
- Une enceinte rive droite, s'appuyant sur l'îlot de Chalibert, pour la construction du barrage mobile. Cette enceinte était constituée par des gabions de palplanches à âme plate, remplis de sable de 16 à 19 m de diamètre.
- Une grande enceinte pour l'édification de l'usine et la digue morte. Cette enceinte comprenait le « batardeau de coupure » au nord, côté mer, et un batardeau sud, côté estuaire, en gabions de palplanches. Pour fermer la partie centrale du batardeau de coupure on utilisa une technique inédite. En effet il n'était pas possible de construire directement des gabions en palplanches dans les courants dont la violence augmentait avec le rétrécissement du passage. Des caissons cylindriques creux ont été échoués tous les 21 m sur des embases préparées à l'avance. Pour accroître leur stabilité, ces caissons furent remplis de sable, les espaces entre caissons étant fermés par des planches en béton armé à raison d'un intervalle sur deux, ce qui permit de construire des



gabions ancrés sur les caissons. Les passes restantes furent fermées de la même manière. Ensuite le batardeau sud a été achevé en eau morte.

- Ce processus d'exécution résultait d'essais réalisés sur un modèle réduit de la Rance au 1/150e construit aux abords du port de Saint-Malo.



PRINCIPALES ÉTAPES DE RÉALISATION

Commencement des travaux :	Janvier 1961
Mise en service de l'écluse :	19 Novembre 1962
Mise en service du barrage mobile :	24 Mars 1963
Coupure définitive de la Rance :	20 Juillet 1963
Mise en eau progressive de l'usine :	Mars, Avril 1966
Couplage du premier groupe :	19 Août 1966
Inauguration de l'usine par Monsieur le Président de la République :	26 Novembre 1966
Inauguration de la route franchissant les ouvrages :	1er Juillet 1967
Mise en service du 24e groupe :	4 Décembre 1967

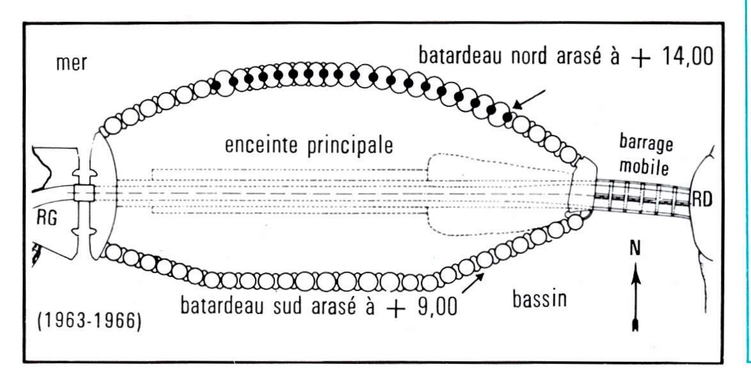
Edition 1973

ELECTRICITE DE FRANCE - Usine Marémotrice de la RANCE, 35780 LA RICHARDAIS
Photos Baranger et Brigaud - Photothèque EDF

Sodel

gabions ancrés sur les caissons. Les passes restantes furent fermées de la même manière. Ensuite le batardeau sud a été achevé en eau morte.

- Ce processus d'exécution résultait d'essais réalisés sur un modèle réduit de la Rance au 1/150e construit aux abords du port de Saint-Malo.



PRINCIPALES ÉTAPES DE RÉALISATION

Commencement des travaux :	Janvier 1961
Mise en service de l'écluse :	19 Novembre 1962
Mise en service du barrage mobile :	24 Mars 1963
Coupure définitive de la Rance :	20 Juillet 1963
Mise en eau progressive de l'usine :	Mars, Avril 1966
Couplage du premier groupe :	19 Août 1966
Inauguration de l'usine par Monsieur le Président de la République :	26 Novembre 1966
Inauguration de la route franchissant les ouvrages :	1er Juillet 1967
Mise en service du 24e groupe :	4 Décembre 1967

ELECTRICITE DE FRANCE - Usine Marémotrice de la RANCE, 35780 LA RICHARDAIS
Photos Baranger et Brigaud - Photothèque EDF
Edition 1973
Sodel


ÉDITIONS SODEL